动 物 学 研 究 2007，Aug. 28（4）：383－388 CN 53－1040/Q ISSN 0254－5853
Zoological Research

贺兰山马鹿冬季食性分析

崔多英[1]，刘振生[1,2]，王小明[1,*]，翟 昊[3]，胡天华[3]，李志刚[3]

（1. 华东师范大学 生命科学学院，上海 200062；2. 东北林业大学 野生动物资源学院，黑龙江 哈尔滨 150040；
3. 宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局，宁夏 银川 750021）

摘要：2003 年 11 月—2004 年 2 月在宁夏贺兰山国家级自然保护区和内蒙古贺兰山国家级自然保护区，利用粪便显微组织学分析技术结合野外啃食调查对马鹿阿拉善亚种（*Cervus elaphus alxaicus*）冬季食性进行了研究。从 7 个沟系中一共收集了 219 堆马鹿粪便中捡拾粪粒，组成 14 个复合样本进行分析，其结果表明，灰榆（27.37%）、山杨（11.75%）、蒙古扁桃（9.83%）、金露梅（8.12%）、锦鸡儿（6.52%）等植物的当年枝和落叶以及禾本科草本植物（7.51%）是马鹿冬季主要食物，其中灰榆为大宗食物，针叶树种（杜松、油松、青海云杉）和其他草本植物所占比例均较小。马鹿对灰榆、山杨、蒙古扁桃、金露梅、锦鸡儿和杜松有正选择性；而对禾本科草本植物、油松和青海云杉有负选择性。马鹿对它们选择性的强弱顺序为：山杨 > 杜松 > 锦鸡儿 > 蒙古扁桃 > 金露梅 > 灰榆 > 禾本科草本植物 > 油松 > 青海云杉。马鹿取食乔木 36.8%、灌木 44.7%、禾本科草本植物 8.0%和非禾本科草本植物 10.5%，这 4 类植物的利用性与可利用性存在极显著差异，乔木和灌木的利用性高于可利用性；禾本科草本植物和非禾本科草本植物的利用性低于可利用性，说明马鹿的食物以木本植物为主，草本植物为辅。Spearman 相关分析得出马鹿对食物的选择性与水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和无氮浸出物之间无明显的相关关系。被啃食植物中粗蛋白含量较高，蛋白质不是越冬马鹿的限制因子，而能量可能是影响冬季马鹿采食较为关键的因子。马鹿冬季采食策略主要是以最小的能量消耗获取最大的能量收益。

关键词：马鹿；冬季；食性；摄食策略
中图分类号：Q959.842；Q958.11 **文献标识码**：A **文章编号**：0254－5853（2007）04－0383－06

Winter Food-habits of Red Deer（*Cervus elaphus alxaicus*）in Helan Mountains，China

CUI Duo-ying[1]，LIU Zhen-sheng[1,2]，WANG Xiao-ming[1,*]，
ZHAI Hao[3]，HU Tian-hua[3]，LI Zhi-gang[3]

（1. *School of Life Science*，*East China Normal University*，*Shanghai* 200062，*China*；
2. *College of Wildlife Resources*，*Northeast Forestry University*，*Harbin* 150040，*China*；
3. *Helan Mountains National Nature Reserve*，*Yinchuan* 750021，*China*）

Abstract：Winter diet composition，selectivity and foraging strategy of red deer（*Cervus elaphus alxaicus*）was studied with a microhistological analysis technique，using faeces and food in the stomach in combination with field investigations from November 2003 to February 2004 in Helan Mountains between Ningxia Muslem Municipality and Inner Mongolia Municipality. We collected 219 faeces pellets from red deer，which formed 14 composite samples. The results showed that *Ulmus pumila*，*Populus davidiana*，*Prunus monglica*，*Dasiphora* spp.，Graminoids（*Stipa* spp.，*Poa* spp.）and *Caragana* spp. were staples of the red deer. The percentages of the above items in the diet were 27.37%，11.75%，9.83%，8.12%，7.51% and 6.52% respectively. The red deer had positive selectivity for *Ulmus pumila*，*Populus davidiana*，*Prunus monglica*，*Dasiphora* spp.，*Caragana* spp. and *Juniperus rigida*，and negative selectivity for Graminoids（*Stipa* spp.，*Poa* spp.），*Pinus tabulaeformis* and *Pinus crassifolia*. Their preference order was as follows：*Populus davidiana* > *Juniperus rigida* > *Caragana* spp. > *Prunus monglica* > *Dasiphora* spp. > *Ulmus pumila* > Graminoids > *Pinus tabulaeformis* > *Pinus crassifolia*. The results of spearman correlative analysis has show that the food selectivities of red deer did not correlate with water，crude ashes，crude

＊ 收稿日期：2007－02－13；接受日期：2007－05－21
基金项目：国家自然科学基金（30470231、30670309）；中国博士后科学基金（2005037496）；“十五”“211 工程”重点学科建设子项目；上海市重点学科（生态学）基金；宁夏回族自治区林业局自选课题（94-01）
＊ 通讯作者（Corresponding author），E-mail：xmwang@ecnu.edu.cn
第一作者简介：崔多英，男，博士研究生，主要从事动物生态学和保护生物学研究。E-mail：tsuiduoying@hotmail.com

protein, crude fat, crude fibre and nitrogen-free extract. The crude protein percentage in the nutritional composition of browsed plants, was sufficient for the red deer, but energy expenditure may be a more critical factor for the wintering red deer. To obtain maximum energy input with minimum energy output is the foraging strategy of the red deer in winter.

Key words: Red deer (*Cervus elaphus alxaicus*); Winter; Food-habits; Foraging strategy

食性研究是了解野生动物与环境关系的重要内容之一，是评估野生动物生境营养容纳量、生境质量评价、生境选择、建立最优取食模型和探讨种间关系等种群生态学问题的基础。在濒危动物保护和资源动物管理中，食性研究一直是关注的热点（Chen et al，1999; Wu et al，2005; Bugalho et al，2001）。在温带地区，冬季对有蹄类动物的存活是一个至关重要的时期（Mautz，1978; Moen，1976; Schmitz，1991），因为这时有蹄类动物的栖息地中植物的可利用性和质量都降到了最低点，大风和积雪增加了其能量消耗，导致有蹄类动物对能量摄取不足（Chen et al，1999; Liu et al，2004，2005; Mautz，1978; Parker & Robbins，1984）。因此，对有蹄类动物冬季的食性研究具有特别重要的科学价值。

马鹿（*Cervus elaphus*）在亚洲、欧洲和北美洲广泛分布（Nowak，1999），在全世界的 23 个亚种中，我国有 8 个亚种（Wang，2003），其中马鹿阿拉善亚种（*C. e. alxaicus*）目前仅分布于宁夏和内蒙古交界的贺兰山中段，是我国唯一幸存的该亚种有效种群（Li et al，1998; Liu et al，2004; Sheng，1992; Wang et al，1999），也是各亚种中分布范围最小、数量最少的一个隔离种群（Zhang et al，1999）。然而，遗憾的是至今尚缺乏对贺兰山马鹿食性的研究报道。目前对马鹿的食性研究主要集中在以下 4 个方面：食物组成的定量分析（Kufeld，1972; Nelson，1982）；食物喜好性分析（Rounds，1979; Gebczynska，1980; Jamrozy，1980; van Wieren，1996; Zhang & Xiao，1990）；食物营养质量的评价（Staines，1969; Ward，1971; Hobbs et al，1981; Chen & Xiao，1989）以及马鹿采食行为的生态学研究（Bugalho et al，2001; Jorritsma et al，1999; Pépin et al，2006）。为了更好地理解贺兰山马鹿阿拉善亚种的生物学特征，我们在对其冬季栖息地选择的基础上，于 2003 年 11 月—2004 年 2 月对该亚种冬季食性特性进行了研究。

1 研究地区与方法

1.1 自然概况

贺兰山位于宁夏银川平原和内蒙古阿拉善高原之间，是我国温带干旱、半干旱地区草原与荒漠的过渡地带。从山麓到主峰有 4 个植被垂直带：① 山地草原带，分布于海拔 1 400—1 600 m，气候温暖而干旱，年均温 8℃左右，年降水量 200—300 mm，以短花针茅（*Stipa breviflora*）和灌木亚菊（*Ajania fruticulosa*）为建群种，植被旱生化明显，覆盖度 10%左右；② 山地疏林草原带，位于海拔 1 600—2 000 m 之间，年降水量 250—350 mm，灰榆（*Ulmus pumila*）稀疏个体与大量蒙古草原区系植物相结合，生长着大面积蒙古扁桃（*Prunus monglica*）灌丛；③ 山地针叶林带，分布于 1 900—3 100 m 的中山和亚高山地带，年平均气温低至 0.8℃，年平均降水量增至 430 mm，本带又分为两个植被亚带，即油松（*Pinus tabulaeformis*）林亚带（1 900—2 350 m）和青海云杉（*Pinus crassifolia*）林亚带（2 350—3 100 m），混生有山杨（*Populus davidiana*）林和灰榆、杜松（*Juniperus rigida*）疏林，以及小叶金露梅（*Dasiphora parvifolia*）灌丛和华西银露梅（*Dasiphora mandshurica*）灌丛；④ 亚高山灌丛、草甸带，位于 3 100—3 556 m 的主峰周围地带，气候高寒，植株低矮，覆盖度高，建群种为毛蕊杯腺柳（*Salix cupularis*）和鬼箭锦鸡儿（*Caragana jubata*）等（Di，1987）。

1.2 研究方法

1.2.1 植物和马鹿粪便的收集 2003 年 11 月—2004 年 2 月，选择马鹿主要分布区之中的 7 个沟系（马莲口、苏峪口、大水沟、哈拉乌、古拉本、樊家营子、镇木关）沿垂直于等高线方向各设置 2 条 2 000 m 样线。根据贺兰山马鹿对冬季生境的选择性特征（Liu et al，2004），样线的布设兼顾不同坡位，按照不同植被类型进行分层抽样。每隔 200 m 设置一个 10 m × 10 m 的大样方，剪取样方内 2 m 以下乔木和灌木的当年枝，烘干称重，用来计算其可利用生物量和比例。在大样方的四角和中心各设一个 1 m × 1 m 的小样方，剪取草本植物地上部分，烘干称重，计算草本生物量和比例。

沿样线寻找马鹿食痕、粪便、足迹和卧迹等活动证据，采集带有食痕和马鹿可能啃食到的所有植物标本，在贺兰山与马鹿同域分布的有蹄类还有岩

羊（*Pseudois nayaur*）和马麝（*Moschus chrysogaster*），当马鹿的活动痕迹与上述两种有蹄类的活动痕迹重叠时，则不采集该植物样本。此外，当发现马鹿采食时，对其采食行为进行记录，待马鹿离去后采集马鹿取食的植物样本。每种植物标本采集两份（相同标识），一份装在牛皮纸信封内，待实验室处理后作为粪便显微组织分析的参照植物样本；另一份置于标本夹中，请专家鉴定其物种名。

根据冬季野外马鹿粪便干燥和风化程度，沿样线捡拾 5 日内的新鲜马鹿粪便（颜色较深，表面有湿润光泽，因风化失水较少，易掰开或踩碎）装在信封里，记录收集时间、地点、生境类型、GPS 定位等数据。从每条样线上发现的马鹿粪堆中取 2 粒混合到一起，组成一个复合样本。在所调查的 7 个沟系中，从一共发现的 219 堆马鹿粪便中捡拾粪粒，组成 14 个复合样本，粪便样本冷冻保存。

1.2.2　显微片的制备　将参照植物与粪便样本在 60℃烘箱里烘 48 h 至恒重，用筛孔为 1 mm 的植物粉碎机粉碎，然后在 100 目（0.15 mm）分样筛中筛选，取筛上样，用解离液处理制片。

取少量粉碎样（约 1 g）放入小烧杯中，加 8—10 mL 解离液（10% HNO_3 和 10% H_2CrO_4 按 1∶1 混合）在电炉上加热，观察到液面有白沫浮起，继续加热至白沫消失，溶液变透明后停止加热，用镊子夹取少许悬浮物置于滴有蒸馏水的载玻片上，用滤纸吸掉水分后，在 10×10 倍的显微镜下观察，如结构清晰，可直接加甘油封片，用加拿大树胶封边（Chen & Xiao，1989；Wu et al，2005）。每个植物样本制片 3 张，每个马鹿复合粪样制片 10 张。

1.2.3　显微片的镜检　每张显微片在放大 100 倍的显微镜下检查 10 个视野，记录每个视野中出现的可辨认植物表皮角质碎片，求出每种植物在马鹿复合粪便样本和胃样中出现的频率 F（%），依公式：$F = 100(1 - e^{-D})$（Fracker & Brischle，1944）转换为每个视野中每种植物可辨认表皮角质碎片的平均密度 D，D 又可转换为相对密度 RD。

RD = 每种植物可辨认的表皮角质碎片的密度/（各种植物可辨认角质碎片的密度之和）×100%。

RD 可作为食物中各种植物实际比例的估计值，据此列出马鹿冬季食谱及大宗食物。镜检结束后，用放大 100 倍（或 400 倍）的显微数码照相机对所有显微片拍照，作为资料保存。

1.2.4　马鹿对食物选择性的分析　马鹿对冬季食物选择性的统计推断采用 Ivlev（1961）的选择性指数：$E_i = (r_i - p_i)/(r_i + p_i)$。其中 r_i：马鹿取食植物中（即粪样的显微片视野中），第 i 种植物出现的频次占所有种类植物出现频次的比例；p_i：野外测量样方中，第 i 种植物可获得生物量占所有种类植物可获得生物量的比例；E_i：介于 −1 和 +1 之间，若 $E_i > 0$ 表示马鹿对第 i 种植物有正选择；若 $E_i < 0$ 为负选择；$E_i = 0$ 表示无选择性；$E_i = -1$ 为不选择。

1.2.5　马鹿冬季食物营养成分分析　该分析委托宁夏回族自治区农业科学院分析测试中心完成。

2　结　果

2.1　马鹿冬季食物组成

对 7 个沟系的 14 份马鹿复合粪便样本进行 Kruskal-Wallis H 检验，表明不同沟系之间马鹿取食的植物数量不存在显著差异（$\chi^2 = 0.241$，$df = 6$，$P > 0.05$），因此，将 14 份样本合并分析，其结果表明，贺兰山马鹿在冬季共取食 26 种（属）植物（表 1）。灰榆、山杨、蒙古扁桃、金露梅（*Dasiphora* spp.）、锦鸡儿（*Caragana* spp.）等植物的当年枝、落叶和禾本科草类（Graminoids）等构成马鹿冬季食物组成的 71.11%，其中灰榆为 27.37%；山杨为 11.75%；蒙古扁桃为 9.83%；金露梅为 8.12%；禾本科草本植物［主要由针茅（*Stipa* spp.）和早熟禾（*Poa* spp.）组成］为 7.51%；锦鸡儿为 6.52%。针叶树种（杜松、油松、青海云杉）和其他草本植物所占比例均较小，灰榆是冬季马鹿的大宗食物。

将马鹿取食的植物按乔木、灌木、禾本科草本植物和非禾本科草本植物进行分类，可以看出分别占马鹿取食植物的 36.8%、44.7%、8.0% 和 10.5%（图 1），对马鹿这 4 类植物的利用性与可利用性的 χ2 检验表明其差异极显著（$\chi^2 = 17.537$，$df = 3$，$P < 0.001$），其中乔木和灌木的利用性高于可利用性，而禾本科草本植物和非禾本科草本植物的利用性则低于可利用性，说明马鹿的食物是以木本植物为主，草本植物为辅。

2.2　冬季马鹿对食物的选择性

通过粪便和胃内容物的显微组织学分析结合野外调查发现，在取食较多的植物种类中，马鹿对灰榆、山杨、蒙古扁桃、金露梅和锦鸡儿有正选择性；对禾本科草本植物有负选择性。根据选择性指数

表 1 贺兰山马鹿冬季食物组成及对食物的选择性

Tab. 1 The winter diet composition and selectivity of the red deer for the plants investigated

植物种类 Plant species	取食部位 Browsing part	*F* (%)	*RD* (%)	r_i	p_i	E_i
灰榆 *Ulmus pumila*	a, b	89.50	27.37	0.156	0.129	0.094
山杨 *Populus davidiana*	a, b	62.00	11.75	0.108	0.003	0.946
蒙古扁桃 *Prunus monglica*	a, b	55.50	9.83	0.097	0.052	0.300
金露梅 *Dasiphora* spp.	a, b	48.78	8.12	0.085	0.058	0.189
禾本科草本植物 Graminoids	a	46.11	7.51	0.080	0.180	-0.383
锦鸡儿 *Caragana* spp.	a, b	41.56	6.52	0.097	0.052	0.300
苔草 *Carex* spp.	a	29.44	4.24	0.052	0.047	0.044
黄刺玫 *Rosa xanthina*	a, b	25.22	3.53	0.044	0.027	0.239
胡枝子 *Lespedeza* spp.	a, b	22.50	3.10	0.039	0.011	0.562
蒿 *Artemisia* spp.	a, c	21.94	3.01	0.038	0.063	-0.245
杜松 *Juniperus rigida*	a, b	18.17	2.43	0.032	0.011	0.484
栒子 *Cotoneaster* spp.	a, b	17.17	2.29	0.030	0.044	-0.191
紫丁香 *Syringa oblata*	a, b	12.61	1.64	0.022	0.007	0.517
柳 *Salix* spp.	a, b	11.28	1.45	0.020	0.002	0.815
绣线菊 *Spiraea* spp.	a, b	8.61	1.09	0.015	0.072	-0.655
山杏 *Prunus ansu*	a, b	7.33	T	0.013	0.001	0.855
灌木亚菊 *Ajania fruticulosa*	a, c	6.67	T	0.012	0.037	-0.522
虎榛子 *Ostryopsis davidiana*	a, b	6.27	T	0.011	0.007	0.219
小蘖 *Berberis* spp.	a, b	6.00	T	0.010	0.053	-0.671
茶藨子 *Ribes* spp.	a, b	5.78	T	0.010	0.004	0.431
鹰爪柴 *Convolvulus gortschakovii*	a, c	5.17	T	0.009	0.003	0.500
内蒙野丁香 *Leptodermis ordosica*	a, b	4.72	T	0.008	0.012	-0.187
油松 *Pinus tabulaeformis*	a, b	4.33	T	0.008	0.062	-0.783
荨麻 *Urtica* spp.	a, c	2.00	T	0.003	0.001	0.554
青海云杉 *P. crassifolia*	a, b	0.67	T	0.001	0.056	-0.959

F：每种植物在马鹿粪便和胃容物样本中出现的频率 Frequency of each plant species occurred in the faeces and stomach composite samples of the red deer；*RD*：占食物的百分比 Percentage presented in food；T：*RD* < 1%；a：叶 Leaf；b：枝 Branch；c：茎 Stem；r_i：实际利用比例 Actual proportion used；p_i：期望利用比例 Expected proportion used；E_i：选择性 Preference.

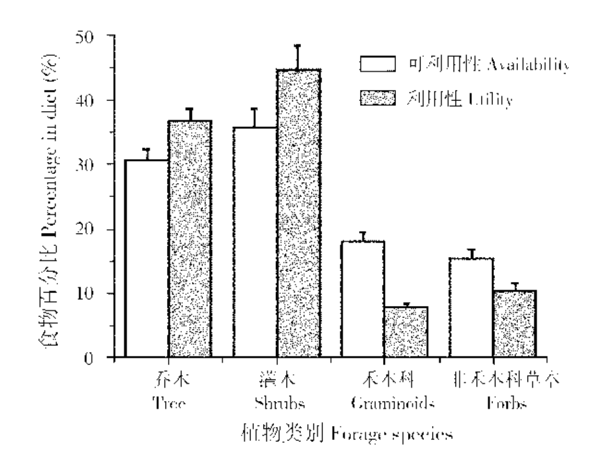


图 1 马鹿对不同植物类别利用性和可利用性的比较

Fig. 1 The comparison of utility and availability of different plants investigated by the red deer

(E_i)，冬季马鹿对 6 种植物的选择性的强弱顺序为：山杨 > 锦鸡儿 > 蒙古扁桃 > 金露梅 > 灰榆 > 禾本科草本植物（表 1）。这表明灰榆虽然是冬季马鹿的大宗食物，却不是马鹿最喜好的食物（$E_i \approx 0$），属于随机取食种类。山杨分布虽少，却是马鹿最喜食的植物。锦鸡儿、蒙古扁桃、金露梅等植物野外分布较多，马鹿也较喜食。禾本科草类野外的生物量较大，但马鹿不喜食。马鹿冬季对杜松有正选择性（$E_i = 0.484$），但是对油松、青海云杉等针叶树种则回避取食。

选择几种在贺兰山大量分布或马鹿正选择的被啃食植物进行营养成分分析（表 2），通过 Spearman 相关分析得出，马鹿对食物的选择性与水分（$r = -0.460$，$P > 0.05$）、灰分（$r = 0.487$，$P > 0.05$）、粗蛋白（$r = 0.292$，$P > 0.05$）、粗脂肪（$r = 0.296$，$P > 0.05$）、粗纤维（$r = -0.137$，$P > 0.05$）和无氮浸出物（$r = 0.030$，$P > 0.05$）之间无明显的相关关系；但是，在马鹿正选择的植物中，粗蛋白的含量要高于有负选择性的植物，这个结果在马鹿有正选择性的灰榆、山杨、锦鸡儿、荨麻和禾本科草中表现得较为明显。

3 讨 论

3.1 食物组成和食物的选择性

贺兰山马鹿冬季食物主要由木本植物的当年枝和落叶组成（88.25%），也采食少量草本植物（11.75%）。这和我国东北林区马鹿的情况有所差别，说明栖息地的特征对有蹄类动物食性的影响是非

表 2 植物样本营养成分组成

Tab. 2 Nutrition composition of the plants investigated

植物种类 Plant species	营养成分 Nutrient composition（%）					
	水分 H_2O	灰分 Crude ashes	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗纤维 Crude fibre	无氮浸出物 Nitrogen-free extract
灰榆 *Ulmus pumila*	4.10	9.42	12.52	4.64	14.99	54.33
山杨 *Populus davidiana*	2.72	8.18	11.07	5.83	19.92	52.28
蒙古扁桃 *Prunus monglica*	2.66	6.41	8.40	3.74	15.16	64.03
金露梅 *Dasiphora* spp.	3.80	5.08	7.27	2.13	38.40	44.03
禾本科草本植物 Graminoids	3.83	8.54	10.30	2.14	31.85	43.34
锦鸡儿 *Caragana* spp.	2.18	8.27	11.59	2.60	32.02	43.34
荨麻 *Urtica* spp.	4.49	26.94	12.26	8.69	21.06	32.99
苔草 *Carex* spp.	3.30	7.24	7.07	2.07	31.46	48.84
杜松 *Juniperus rigida*	2.96	8.44	5.92	7.22	32.01	43.45
油松 *Pinus tabulaeformis*	4.90	3.76	9.82	7.40	31.86	42.26
青海云杉 *P.crassifolia*	3.81	3.80	6.89	5.64	28.17	51.69

常明显的。东北马鹿（*C.e.xanthopygus*）冬季食物中木本植物当年枝（不包含落叶）成分达到了 98.8%（Chen & Xiao，1989），高于贺兰山马鹿对当年枝的采食强度，这可能跟东北地区海洋性气候使马鹿喜食的木本植物发育较好，郁闭度大有关；另一方面，东北林区冬季雪被很厚，马鹿采食落叶和草本植物时需要刨开积雪，消耗更多的体力，从能量收支角度权衡并不经济，这也影响了马鹿对草本植物的采食。贺兰山地处我国西北干旱地区，冬季在低山和中山区仅阴坡有少量积雪，阳坡基本没有积雪，这使马鹿有更多机会采食落叶和草本植物，干旱的大陆性气候也使贺兰山木本植物的郁闭度降低，导致其可获得性低于东北林区（Liu et al，2004）。

贺兰山马鹿的冬季食性和东欧及北美一些研究者的结果也有所差别（Batchelor，1965；Jamrozy，1980；Nelson，1982）。我们在野外考察期间从未发现马鹿啃食树皮现象，我国东北马鹿也不啃食树皮（Chen & Xiao，1989）；但是，在波兰北部地区马鹿冬季不仅啃食树皮（Gebczynska，1980；Jamrozy，1980），而且将树皮连同针叶植物和草本植物一起作为主要食物（Jamrozy，1980）。北美马鹿（*C.e.canadensis*）冬季的主要食物是草本植物（Hobbs et al，1981；Nelson，1982）。油松和青海云杉是贺兰山不同海拔植被地带性分布的建群树种，也是当地主要用材林。研究结果表明，马鹿在冬季对这两种树木及其幼苗不构成危害。贺兰山马鹿冬季对杨、柳有正选择性（表 1），这与我国东北马鹿（Chen & Xiao，1989）以及波兰一些研究者的结果（Gebczynska，1980；Jamrozy，1980）相同。

3.2 马鹿冬季采食策略评价

植物的营养质量与植物的物候期有关，其当年枝在冬季含有最少的粗蛋白和最多的粗纤维，冬季植物的营养质量下降到最低点（Nelson，1982）。蛋白质及能量水平不能满足马鹿对他们的需要时，马鹿机体的营养状况下降，生殖能力、生存及繁殖条件受到影响，严重时导致死亡，所以食物中对蛋白质和能量的获得是马鹿在冬季面临的最大问题。Nelson（1982）和 Maloiy（1970）认为，北美马鹿和欧洲马鹿（*C.e.elaphus*）冬季食物中的粗蛋白含量必须达到 5.7% 和 5%，才能保证它们对蛋白质的需求。贺兰山马鹿冬季食物中粗蛋白的含量平均为 9.37%（表 2），因而我们认为在贺兰山马鹿不会发生蛋白质缺乏。贺兰山冬季干旱、寒冷，马鹿冬季主要取食低消化率的木本植物，干物质消化率较低。根据经典营养学理论，低消化率的冬季食物预示着贺兰山马鹿在冬季最严酷的时期可能出现负的能量平衡，因此，能量摄入的多少是冬季贺兰山马鹿的一个重要限制因素。

马鹿冬季摄食策略主要是以最小的能量消耗获取最多的能量。灰榆、山杨、蒙古扁桃和金露梅在马鹿冬季取食生境中数量最多，为马鹿提供了最大的食物量。马鹿在采食这些植物时，将消耗相对少的能量。灰榆、山杨含有较多的可消化能，是冬季马鹿能量的主要来源，这在一定程度上和冬季马鹿对能量的迫切需要相适应。同时，灰榆、山杨、锦鸡儿等植物含有较多粗蛋白，食物中粗蛋白水平的提高有利于维持瘤胃中的微生物环境，提高微生物对纤维素的消化能力，进而提高能量的利用率。

3.3 保护管理建议

在贺兰山，马鹿和岩羊是同域分布的大型食草动物。马鹿阿拉善亚种在近 20 年以来一直维持在

低于2 000只的种群数量（Wang et al，1999），而同期岩羊的数量却由1983年的不到1 800只增加到目前的12 000余只。大型食肉类天敌的缺失使得马鹿和岩羊的种间关系成为当地生态系统的主要矛盾。因此，建议适时开展马鹿和岩羊生态位关系研究以及贺兰山自然保护区对马鹿和岩羊的生态承载力研究，并采取有效措施，以解决岩羊种群增长过快，而马鹿阿拉善亚种濒危的矛盾。

致谢：感谢宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局科研科王继飞、朱丽华、赵春玲同志和宁夏回族自治区林业局林政处白庆生副处长、宣教处吕海军科长对本项研究野外工作的支持和帮助；感谢内蒙古贺兰山国家级自然保护区管理局同志们的热情帮助；感谢东北林业大学野生动物资源学院张明海教授、李和平教授、刘伟石副教授、邹琦高级工程师、单继红硕士对实验室分析工作的耐心指导和帮助。

参考文献：

Bugalho MN, Milne JA, Racey PA. 2001. The foraging ecology of red deer (*Cervus elaphus*) in a Mediterranean environment: Is a larger body size advantageous? [J]. *J Zool*, **255**: 285-289.

Chen HP, Li F, Luo LY, Wang H, Ma JZ, Li F. 1999. Winter bed-site selection by red deer *Cervus elaphus xanthopygus* and roe deer *Capreolus capreolus bedfordi* in forests of northeastern China [J]. *Acta Theriol*, **44**: 195-206.

Chen HP, Xiao QZ. 1989. Winter food-habits of red deer in Dailing [J]. *Acta Theriol Sin*, **9**(1): 8-15. [陈化鹏，萧前柱. 1989. 带岭林区马鹿冬季食性研究. 兽类学报, **9**(1): 8-15.]

Di WZ. 1987. Plantae Vasculares Helanshanicae [M]. Xi'an: Northwestern University Press, 20-22. [狄维忠. 1987. 贺兰山维管植物. 西安：西北大学出版社, 20-22.]

Fracker SB, Brischle JA. 1944. Measuring the local distribution of Ribes [J]. *Ecology*, **25**: 283-303.

Gebczynska Z. 1980. Food of the roe deer and red deer in the Biolowieza primeval forest [J]. *Acta Theriol*, **25**: 487-500.

Hobbs NT, Backer DL, Ellis JE, Swift DM. 1981. Composition and quality of elk winter diets in Colorado [J]. *J Wildl Manage*, **45**: 156-171.

Ivlev VS. 1961. Experimental Ecology of the Feeding of Fishes [M]. New Haven: Yale University Press.

Jamrozy G. 1980. Winter food resources and food preferences of red deer in Carpathian forests [J]. *Acta Theriol*, **25**: 221-238.

Jorritsma ITM, van Hees AFM, Mohren GMJ. 1999. Forest development in relation to ungulate grazing: A modeling approach [J]. *For Ecol Manage*, **120**: 23-34.

Kufeld RC. 1972. Foods eaten by the Rocky Mountain elk [J]. *J Range Manage*, **26**: 106-113.

Li M, Wang XM, Sheng HL, Tamate H, Masuda R, Nagata J, Ohtaishi N. 1998. Origin and genetic diversity of four subspecies of red deer (*Cervus elaphus*) [J]. *Zool Res*, **19**(3): 177-183. [李 明, 王小明, 盛和林, 玉手英利, 增田隆一, 永田纯子, 大泰司纪之. 1998. 马鹿四个亚种的起源和遗传分化研究. 动物学研究, **19**(3): 177-183.]

Liu ZS, Cao LR, Wang XM, Li T, Li ZG. 2005. Winter bed-site selection by blue sheep (*Pseudois nayaur*) in Helan Mountains, Ningxia, China [J]. *Acta Theriol Sin*, **25**(1): 1-8. [刘振生, 曹丽荣, 王小明, 李 涛, 李志刚. 2005. 贺兰山岩羊冬季对卧息地的选择. 兽类学报, **25**(1): 1-8.]

Liu ZS, Cao LR, Zhai H, Hu TH, Wang XM. 2004. Winter habitat selection by red deer (*Cervus elaphus alxaicus*) in Helan Mountain, China [J]. *Zool Res*, **25**(5): 403-409. [刘振生, 曹丽荣, 翟昊, 胡天华, 王小明. 2004. 贺兰山区马鹿对冬季生境的选择性. 动物学研究, **25**(5): 403-409.]

Maloiy GM. 1970. Digestion and nitrogen metabolism in sheep and red deer given large or small amounts of water and protein [J]. *Br J Nutr*, **24**: 843-855.

Mautz WW. 1978. Sledding on a bushy hillside: The fat cycle in deer [J]. *Wildl Soc Bull*, **6**: 88-90.

Moen AN. 1976. Energy conservation by white-tailed deer in the winter [J]. *Ecology*, **57**: 192-198.

Nelson JR. 1982. Nutritional requirement and food habits [A]. In: Thomas JW, Toweill DE. Elk of North America: Eology and Management [M]. Harrisburg, PA: Stackpole Books, 698.

Nowak RM. 1999. Walker's Mammals of the World [M]. 6th ed. Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press, 1110-1113.

Pépin D, Renaud PC, Boscardin Y, Goulard M, Mallet C, Anglard F, Ballon P. Relative impact of browsing by red deer on mixed coniferous and broad-leaved seedlings: An enclosure-based experiment [J]. *For Ecol Manage*, **222**: 302-313.

Rounds RC. 1979. Height and species as factors determining browsing of shrubs by wapiti [J]. *J Appl Ecol*, **16**: 227-241.

Schmitz OJ. 1991. Thermal constrains and optimization of winter feeding and habitat choice in white-tailed deer [J]. *Holarc Ecol*, **14**: 104-111.

Sheng HL. 1992. The Deer in China [M]. Shanghai: East China Normal University Press, 213-222. [盛和林. 1992. 中国鹿类动物. 上海：华东师范大学出版社, 213-222.]

Staines BW. 1969. Digestion of heather by red deer [J]. *Proc Nutr Soc*, **28**: 1-21.

van Wieren SE. 1996. Do large herbivores select a diet that maximizes short-term energy intake rate [J]. *For Ecol Manage*, **88**: 149-156.

Wang XM, Li M, Tang SX, Liu ZX, Li YG, Sheng HL. 1999. The study of resource and conservation of artiodactyls in Helan Mountain [J]. *Chn J Zool*, **34**(5): 26-29. [王小明, 李 明, 唐绍祥, 刘志霄, 李元广, 盛和林. 1999. 贺兰山偶蹄类动物资源及保护现状研究. 动物学杂志, **34**(5): 26-29.]

Wang YX. 2003. A Complete Checklist of Mammal Species and Subspecies in China a Taxonomic and Geographic Reference [M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 125-126. [王应祥. 2003. 中国哺乳动物种和亚种分类名录与分布大全. 北京：中国林业出版社, 125-126.]

Ward AL. 1971. In vitro digestibility of elk winter forage in southern Wyoming [J]. *J Wildl Manage*, **35**: 681-688.

Wu JP, Shan JH, Wang ZP. 2005. Winter food-habits of goral in Tonghe Region of Lesser Xing'an Mountains [J]. **40**(4): 40-44. [吴建平, 单继红, 王志平. 2005. 小兴安岭通河林区斑羚冬季食性分析. 动物学杂志, **40**(4): 40-44.]

Zhang XL, Li ZG, Lü HJ, Guo HL. 1999. Studies on ecological habits and population dynamics of Ningxia red deer [J]. *Ningxia Sci Technol Agricul For*, (suppl.): 22-27. [张显理, 李志刚, 吕海军, 郭宏玲. 1999. 宁夏马鹿的生态习性与种群动态研究. 宁夏农林科技, (增刊): 22-27.]